

УДК 69.006

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ СТРОИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ

*Докт. техн. наук, проф. СОЛОМАХО В. Л., асп. СОЛОМАХО Д. В., инж. ВОЛЧОК А. С.*

*Белорусский национальный технический университет,  
Научно-производственное предприятие ООО «САРУС»*

Современное состояние строительного комплекса Республики Беларусь характеризуется высокими темпами производства работ, значительным количеством возводимых зданий, имеющих уникальные архитектурно-планировочные решения, и соответственно активным внедрением новых технологий на всех этапах строительства и последующей эксплуатации зданий.

К основным отличительным признакам применяемых в настоящее время проектных и технологических решений можно отнести:

- использование новых методик расчета строительных конструкций, базирующихся на широком применении вычислительных методов и их реализации при помощи соответствующих программных продуктов;
- нестандартные конструкторские и технологические решения, которые в нашей стране реализуются впервые;
- применение инновационных технологий и материалов.

Несмотря на то, что перечисленные тенденции способствуют повышению качества строительства, число аварий на строительных объектах во всем мире не снижается. Дело в том, что развитие сложных математических моделей и применение высококлассной вычислительной техники породили иллюзию возможности рассчитать любую сколь угодно нестандартную конструкцию с «абсолютной» достоверностью. Реальность же такова, что за стройностью принятой численной модели стоит не всегда адекватное ее воплощение при реализации конкретного проекта.

Любое разумное проектное решение не является абсолютной гарантией безопасного функционирования зданий и сооружений и не может исключить снижения надежности в связи с объективно существующими несоответствиями

между принятой и расчетной моделями и реальными условиями функционирования строительных конструкций, неизбежно существующими отклонениями в технологии проведения строительных работ, реализацией факторов риска природного и техногенного характера.

Наличие сложных конструктивных элементов, находящихся в комплексном многопараметрическом взаимодействии как между собой, так и с окружающей средой, определяет высокие требования к качеству проектирования и строительства, а также неизбежно сопряжено с возможностью возникновения дефектов на стадии эксплуатации.

Сложность построения расчетных моделей проиллюстрируем анализом действующих нагрузок, в значительной степени характеризующих общее напряженно-деформированное состояние конструкции. Все действующие нагрузки условно подразделим на статические и повторно-статические (периодические).

Статические нагрузки могут привести к разрушению конструкции в случаях:

- несоответствия эксплуатационных нагрузок расчетным;
- наличия в конструкции грубых производственных дефектов.

Периодические нагрузки являются причиной появления локальных напряженно-деформированных участков с повышенным уровнем напряжений. Эти участки группируются в зоне геометрических концентраторов и других нерегулярностей. Такие нагрузки приводят к возникновению или интенсификации дефектов, изменяют проектное положение конструкции.

По длительности воздействия нагрузки, действующие на здания и сооружения, можно классифицировать на постоянные и временные, а также носящие особый характер (табл. 1).

Вид нагрузки	Время воздействия	Источники возникновения и характер проявления
Постоянные	Постоянное	Вес сооружения, в том числе вес несущих и ограждающих строительных конструкций; вес и давление грунтов
Временные	Длительное	Вес временных перегородок; вес стационарного оборудования, емкостей, трубопроводов с арматурой; вес жидкостей и твердых тел, заполняющих оборудование; давление газов, жидкостей и сыпучих тел в емкостях и трубопроводах; нагрузки от складированных материалов и стеллажного оборудования; температурные, климатические воздействия, обусловленные изменением влажности, усадкой и ползучестью материалов
	Кратковременное	Нагрузки оборудования, используемого при наладке, нагрузки от подвижного подъемно-транспортного оборудования: погрузчиков, дельферов, лифтов; ветровые нагрузки; гололедные и снеговые нагрузки
Особые	Кратковременное	Сейсмические взрывные воздействия; воздействия, обусловленные деформациями основания, связанные с коренным изменением структуры грунта; нагрузки, вызываемые резким нарушением технологического процесса

Принимая во внимание многообразие факторов, влияющих на техническое состояние строительных конструкций, и сложность их математического описания, становится очевидно, что они не могут быть в полной мере учтены в используемых математических моделях.

В дополнение к этому подчеркнем, что строительные материалы, сочетаемые в конструкциях, обладают различной скоростью старения, имеет место статистический разброс характеристик грунтов основания и материалов строительной конструкции.

Как показывает статистический анализ, повреждения и дефекты в конструкциях зданий на 10–12 % являются результатом ошибок в геологических исследованиях, 18–20 % – в проектировании, примерно 50 % дефектов связаны с ошибками, возникающими на стадии строительства, в 20 % случаев – на стадии эксплуатации (рис. 1).

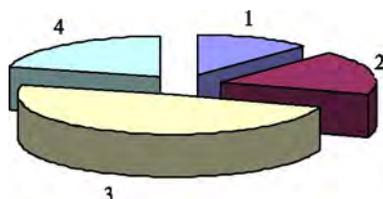


Рис. 1. Процентное соотношение дефектов, возникающих на различных стадиях жизненного цикла объекта: 1 – геологических исследований; 2 – проектных работ; 3 – строительства; 4 – эксплуатации

Надежная и безопасная работа строительных конструкций зданий и сооружений может быть обеспечена при правильном и своевременном проведении технического диагностирования с использованием современных методов и средств контроля на всех стадиях жизненного

цикла строительных объектов с целью достоверного прогнозирования ресурса их безопасной эксплуатации.

Одним из наиболее эффективных возможных решений данной проблемы является внедрение систем строительного мониторинга, включающих в себя технические средства, обеспечивающие раннее выявление возможности обрушения здания под влиянием конструктивно-технологических, эксплуатационных и природно-техногенных воздействий. Применение таких систем отражает мировую тенденцию перехода от периодического контроля к постоянному мониторингу строительных объектов с использованием комплексных автоматических систем. Необходимость такого решения связана в первую очередь с высокими скоростями роста эксплуатационных дефектов и, как следствие, относительно малым периодом времени от момента возникновения дефекта до ее полного разрушения.

В настоящее время в Республике Беларусь создается необходимое нормативно-методическое обеспечение разработки и внедрения систем строительного мониторинга. В частности, ТКП 45-3.02-108-2008 «Высотные здания. Строительные нормы проектирования» регламентирует оснащение системами мониторинга состояния несущих конструкций всех проектируемых высотных зданий.

В соответствии с этим документом системы строительного мониторинга должны обеспечивать непрерывный контроль напряжений оснований и деформаций конструкций фундаментов и подземной части (осадки, крены, горизонтальные смещения и др.), раскрытия трещин, усилий в распорных и анкерных конструкциях,

уровня колебаний фундаментов при наличии вибродинамических и потенциальных сейсмических, техногенных и иных воздействий.

Практическими работами, связанными с разработкой нормативного обеспечения, а также аппаратных и программных средств строительного мониторинга, в нашей стране занимаются Белорусский научно-исследовательский институт строительства (БелНИИС), Национальная академия наук Беларуси, Белорусский национальный технический университет, Научно-производственное предприятие ООО «САРУС» (г. Минск).

Системы строительного мониторинга можно рассматривать как частный случай SCADA-систем, предназначенных для сбора и анализа информации о процессах с целью выработки решений по их управлению. Рассмотрим типовую структурную схему системы строительного мониторинга (рис. 2).



Рис. 2. Типовая структура системы строительного мониторинга

В структуру системы входят первичные преобразователи физических величин, характеризующих напряженно-деформированное состояние конструкции (механические напряжения, деформации), аналого-цифровые преобразователи, модуль сбора данных и управляющий компьютер.

Одним из важнейших параметров, характеризующих техническое состояние строительного объекта, является деформация его несущих конструкций.

Все существующие методы измерения деформаций строительных конструкций можно подразделить на методы, основанные на преобразовании деформации в перемещение и измерении этого перемещения (косвенные методы), и методы, реализующие прямое измерение деформации.

В связи с тем, что основной задачей систем строительного мониторинга являются регистрация изменения напряженно-деформированного состояния конструкции и оценка степени этого изменения, достаточно использовать первичные преобразователи (и датчики в целом) с относительной погрешностью, не превышающей 2 %. При этом метрологические характеристики датчиков должны обладать стабильностью в течение длительного времени.

Измерительная информация, полученная управляющим компьютером, подвергается математической обработке с использованием различных алгоритмов, соответствующих задачам системы. При решении наиболее общей задачи (фиксация изменения состояния системы и его оценка) применяется простая статистическая обработка с построением тренда. Если система призвана решать более сложные задачи, например локализация дефекта и прогнозирование его роста, а также прогнозирование несущей способности конструкции на определенный срок, требуется применять более сложные математические методы. К таким методам относятся экстраполяция на основе нелинейного регрессионного анализа, нечеткая логика, нейронные сети, применение экспертных оценок и морфологического расчленения.

## ВЫВОДЫ

Применение строительного мониторинга, построенного на рассматриваемых принципах, позволит перейти на автоматическую систему непрерывного контроля технического состояния и обеспечит:

- получение измерительной информации в полном объеме и в установленные сроки в независимости от сложности доступа к элементам объекта в процессе эксплуатации;
- полную автоматизацию контрольных процедур;
- высокую информативность за счет многократных измерений контролируемых параметров конструкции;
- высокую достоверность результатов за счет исключения субъективного фактора вследствие автоматизации контроля, применения современных методов и средств измерений, использования оптимизированных алгоритмов обработки информации.